

Lydia Ferrara

Idrologia



Copyright © MMVIII
ARACNE editrice S.r.l.

www.aracneeditrice.it
info@aracneeditrice.it

via Raffaele Garofalo, 133 A/B
00173 Roma
(06) 93781065

ISBN 978-88-548-2242-9

*I diritti di traduzione, di memorizzazione elettronica,
di riproduzione e di adattamento anche parziale,
con qualsiasi mezzo, sono riservati per tutti i Paesi.*

*Non sono assolutamente consentite le fotocopie
senza il permesso scritto dell'Editore.*

I edizione: novembre 2008

Indice

Prefazione	15
Introduzione	19
Capitolo I	
L'acqua: caratteristiche chimico-fisiche	25
Capitolo II	
Idrogeologia	31
Capitolo III	
Le acque naturali	35
3.1. Acque meteoriche	37
3.2. Acque telluriche	39
3.3. Acque sotterranee.....	42
Capitolo IV	
Captazione delle acque	45
4.1. Campionamento	50
4.2. Contenitori per il campionamento	52
4.3. Conservazione dei campioni	54
4.4 Recipienti per la raccolta e conservazione dei campioni	54
Capitolo V	
Analisi delle acque potabili	57
5.1. Valutazione del territorio	57
5.2. Caratteri fisici ed organolettici	58
5.3. Colore	59
5.3.1. Metodo del cloroplatinato	59

5.4. Odore	61
5.5. Sapore	61
5.6. Limpidezza	61
5.7. Composizione chimica	63
5.7.1. <i>Determinazione dei Sali ammoniacali</i>	63
5.7.2. <i>Determinazione dei nitriti</i>	64
5.7.3. <i>Determinazione dei nitrati</i>	65
5.7.4. <i>Determinazione dei fosfati</i>	66
5.8. Determinazione del pH	68
5.8.1. <i>Determinazione potenziometrica</i>	68
5.9. Determinazione della conducibilità	69
5.10. Residuo fisso	69
5.11. Determinazione delle sostanze organiche totali (Kubel)	70
5.12. Determinazione dei cloruri(Mohr)	71
5.13. Determinazione dei solfati	71
5.14. Determinazione del ferro	73
5.15. Determinazione del manganese	74
5.15.1. Metodo di assorbimento atomico	74
5.15.2. Metodo spettrofotometrico	75
5.16. Determinazione del fluoro	76
5.17. Determinazione della durezza totale	77
5.17.1. <i>Durezza calcica</i>	78
5.17.2. <i>Durezza magnesiacca</i>	78
5.18. Determinazione dell'alcalinità	79
5.19. Determinazione dell'anidride carbonica	79
5.20. Determinazione della silice	81
5.21. Ricerca dei metalli inquinanti	82
5.22. Determinazioni microbiologiche	90
5.22.1. <i>Determinazione Escherichia coli</i>	91
5.22.2. <i>Metodo a fermentazione a tubi multipli o metodo MPN</i>	92
5.22.3. <i>Conteggio delle colonie</i>	93
5.22.4. <i>Determinazione dei coliformi totali</i>	93
5.22.5. <i>Determinazione dei coliformi fecali</i>	95
5.22.6. <i>Determinazione degli streptococchi fecali</i>	95

Capitolo VI

La carta europea dell'acqua	97
-----------------------------------	----

Capitolo VII

Le acque minerali	103
-------------------------	-----

7.1. Mineralizzazione	104
-----------------------------	-----

7.2. Analisi fisico-chimiche delle acque minerali	105
---	-----

7.3. Classificazione delle acque minerali	108
---	-----

7.3.1. <i>Classificazione secondo principi terapeutici</i>	109
--	-----

7.3.2. <i>Classificazione secondo la concentrazione salina totale, la temperatura, la concentrazione di un particolare ione, la pressione osmotica:</i>	109
---	-----

7.4. Applicazioni terapeutiche delle acque termali	116
--	-----

7.5. Idropinoterapia	116
----------------------------	-----

7.6. Tecniche inalatorie	117
--------------------------------	-----

7.7. Irrigazioni	121
------------------------	-----

7.8. Balneoterapia	123
--------------------------	-----

7.9. Fangoterapia	124
-------------------------	-----

7.10. Antroterapia	130
--------------------------	-----

7.11. <i>Altri impieghi delle acque minerali</i>	131
--	-----

Capitolo VIII

Utilizzazione di acque superficiali a scopo potabile	135
--	-----

8.1. Metodi di potabilizzazione delle acque salmastre	136
---	-----

8.2. Potabilizzazione acque dolci	146
---	-----

Capitolo IX

Utilizzazione delle acque per usi diversi	161
---	-----

9.1. Uso dell'acque in agricoltura	161
--	-----

9.1.1. <i>Agricoltura idroponica</i>	164
--	-----

9.2. Uso dell'acqua in zootecnia	166
--	-----

9.2.1. <i>Acquacoltura</i>	168
----------------------------------	-----

9.3. Uso dell'acqua nell'industria	171
--	-----

Capitolo X

Gli ecosistemi acquatici	177
10.1. Caratterizzazione degli ecosistemi	182
10.2. Ciclo delle sostanze nutritive	185
10.3. Ciclo del fosforo	187
10.4. Ciclo dello zolfo	188
10.5. Ciclo del carbonio	190
10.6. Ciclo dell'azoto	192
10.7. Cause dell'inquinamento degli ecosistemi	194
10.8. Determinazione dei fenoli	195
10.9. Determinazione degli idrocarburi policiclici aromatici	196
10.10. Determinazione dei tensioattivi	198
10.11. Determinazione dei cianuri	201
10.11.1. Metodo volumetrico	201
10.11.2. Metodo spettrofotometrico	203
10.12. Determinazione dei pesticidi	204
10.13. Determinazione dei solfuri	207
10.14. Parametri indicatori dell'inquinamento	209
10.15. Valutazione dell'inquinamento mediante metodi biologici	212
10.16. Valutazione dell'inquinamento mediante metodi chimici	212

Capitolo XI

Interventi di bonifica e messa in sicurezza	217
11.1. Tecnologie di risanamento	220
11.2. Soil washing	220
11.3. Estrazione con solventi	222
11.4. Soil vapor extraction o soil venting (SVE)	223
11.5. Pump and Treat	224
11.6. Air sparging	226
11.7. Dual phase extraction	228
11.8. Desorbimento termico	229
11.9. Incenerimento	229

11.10. Bioremediation	230	
11.11. Bioventing	232	
11.12. Biosparging	233	
11.13. Natural attenuation	235	
11.14. Bioslurry	235	
11.15. Land farming.....	236	
11.16. Biopile	237	
11.17. Barriere permeabili reattive e microbiologiche	238	
11.18. Phytoremediation	239	
 Capitolo XII		
Depurazione acque reflue	247	
 12.1.Trattamento primario		250
12.2.Trattamento secondario		254
12.2.1. Ossidazione ai fanghi attivi		255
12.2.2.Filtri percolatori		260
12.3.Trattamento di fanghi		262
12.4.Trattamento terziario		266
12.4.1.Rimozione dell'azoto		266
12.4.2.Rimozione del fosforo		266
12.4.3.Disinfezione		267
 Capitolo XIII		
Depurazione acque reflue industriali	271	
 13.1. Trattamento reflui delle industrie tessili		271
13.2. Trattamento reflui delle industrie conciarie		273
13.3. Trattamento reflui delle industrie agricole ed alimentari		275
13.4. Trattamento reflui delle industrie cartarie		277
13.5. Trattamento reflui delle industrie metallurgiche e petrolchimiche		277
 Bibliografia		281

Prefazione

L'idrologia è la scienza che studia l'acqua sotto tutti gli aspetti nei quali si presenta: acque superficiali (mari, fiumi, laghi), acque sotterranee (sorgenti di acqua potabile e minerale), acque per impiego industriale, acque inquinate, acque di scarico ecc.

L'acqua infatti è una risorsa naturale indispensabile per la vita di tutti gli esseri viventi, la sua disponibilità non è infinita, pertanto non bisogna attingere ad essa indiscriminatamente, ma con precauzione, e bisogna mantenerla sempre limpida e pura evitando ogni possibilità di inquinamento. Si può distinguere pertanto idrologia chimica, biologica, geologica, medica, eco-ambientale, industriale, settori diversi tra loro ma con la stessa finalità di utilizzare l'acqua per i diversi impieghi evitando inutile spreco

Nella cultura e nella tradizione popolare l'acqua ha sempre avuto caratteristiche di elemento straordinario, magico e misterioso in grado di purificare e rigenerare persone, luoghi, situazioni. L'acqua sgorgante dalla terra, presso i popoli primitivi, assumeva valore sacrale essendo l'elemento primordiale derivante dalla terra concepita come madre divina e feconda. Nel simbolismo più ricorrente l'azione purificatrice è spesso associata all'acqua in movimento, poiché è il movimento che opera la catarsi elargendo benessere, rinnovando, donando la fertilità.

Per tutti gli esseri viventi, animali, vegetali, funghi, microrganismi, che nel loro insieme costituiscono la biosfera, l'acqua rappresenta una risorsa fondamentale ed insostituibile. Per l'uomo la disponibilità di acqua di buona qualità è stranamente collegata con la qualità della vita, rappresentando una condizione

che solitamente garantisce una adeguata igiene personale e degli ambienti, una soddisfacente produzione agricola, artigianale ed industriale e, di conseguenza, una sufficiente alimentazione.

L'acqua non è uniformemente distribuita sul nostro pianeta e non sempre è possibile all'uomo poter disporre di acqua in quantità sufficiente per le sue necessità.

Questa penuria di acqua può essere causata dalla localizzazione geografica del paese, dall'inquinamento di origine antropica delle acque di superficie o di falda, dalla contaminazione di queste con agenti patogeni.

Milioni di giovani donne nei paesi del terzo mondo sono costrette ogni giorno a fare decine di chilometri per assicurare l'acqua alla propria famiglia trascurando l'istruzione e trasportando pesi troppo grandi per le loro età, con grave danno per la salute. Molti conflitti e non solo del passato hanno tratto origine più o meno velatamente dal tentativo di conquistare o controllare sorgenti di acqua, fiumi, sbocchi sul mare per il commercio e le comunicazioni. Inoltre lo sfruttamento delle risorse idriche del pianeta ha rivestito un ruolo prioritario anche nei rapporti internazionali.

Finalmente tutti gli Stati hanno recepito questa esigenza fondamentale dell'uomo e nel 2001 durante il Forum di Kyoto hanno riconosciuto l'indispensabilità dell'acqua per tutti i popoli e pertanto come patrimonio dell'umanità la necessità di proteggere le risorse idriche. Al 1° Forum Mondiale Alternativo dell'Acqua a Firenze fu deciso di riconoscere l'acqua come un "diritto fondamentale" per i popoli e un "bene comune mondiale" proponendo una giornata speciale per cui ogni anno per ricordare tale il diritto si celebra il 22 marzo la "*giornata mondiale dell'acqua*".

Questo libro, rivolto a tutti coloro che hanno a cuore il patrimonio della natura ed in particolare agli studenti che scelgono un indirizzo specialistico ambientale e vogliono conoscere i problemi ecologici, affronta l'argomento "acqua" sotto tutti i suoi aspetti, evidenziando le caratteristiche chimiche dei vari tipi di acqua, proponendo metodiche analitiche per l'identificazione di

sostanze inquinanti o per il riutilizzo di acque che una volta utilizzate costituiscono un refluo che necessita di processi di depurazione.

È importante far comprendere, non solo con belle parole, ma con metodologie appropriate e facilmente applicabili, sempre che ci sia la volontà, come sia possibile evitare che l'acqua venga sprecata, e, similmente al ciclo delle acque naturali, anche l'acqua adoperata dall'uomo per le diverse necessità, possa essere ciclicamente recuperata. A tal proposito viene trattato l'argomento relativo all'inquinamento delle acque, sia per la sua attualità sia per le molteplici implicazioni di ordine chimico che esso comporta.

La complessità dei vari argomenti rende comunque impossibile una trattazione esauriente, per cui maggior rilievo è stato dato alle analisi chimiche che permettono anche da sole di fornire indicazioni sulla qualità delle diverse acque.

Introduzione

L'acqua fin dall'antichità ha suscitato un costante interesse da parte degli uomini che l'hanno venerata e temuta perché come dice Eraclito essa non è mai una cosa sola: è fiume e mare, dolce e salata; è nemica ed amica; è principio e fine. Si legge in Eraclito: “dalla terra nasce l'acqua, dall'acqua nasce l'anima”.

L'acqua è come l'anima dell'essere vivente: essa è eterna, non conosce riposo, non ha principio e non ha fine.

L'acqua è un elemento indispensabile per la vita sulla terra della quale determina la fertilità e la produttività: l'uomo preistorico costruì le sue prime abitazioni sull'acqua e presso le rive di grandi fiumi sorsero antiche civiltà.

Nell'*Odissea* di Omero, Ulisse compie il suo ritorno verso Itaca costantemente a contatto con l'acqua, simbolo di vita e di tranquillità, che lo trasporta nella terra dei Feaci dove trova aiuto per ritornare in patria; acqua come simbolo di paura e distruzione, infatti essa non sempre per lui è benigna, in quanto egli deve affrontare i mostri marini Scilla e Cariddi, le tempeste dell'irato Poseidone, l'incanto delle sirene.

L'acqua è anche terrore e morte: Esiodo nella *Teogonia* narra della grande inondazione voluta dal dio per punire il genere umano di tutte le scelleratezze commesse; essa tutto ricopre e tutto distrugge, ma dalla furia delle acque viene salvato l'uomo giusto che rinascerà ad una nuova vita.

Nell'antichità l'acqua rivestiva infatti un ruolo essenziale non solo per le necessità della vita quotidiana, ma anche in numerose pratiche di culto. Essa ha avuto un ruolo importante presso tutte le religioni essendo considerata origine della vita, elemento di rigenerazione e purificazione: le sue proprietà salutari e cura-

tive sono state sempre molto apprezzate fin dalle origini della medicina. La sacralità delle acque dei fiumi, dei mari e delle fonti derivava dalla credenza che fossero abitate da ninfe, Nereidi le ninfe del mare, Naiadi le ninfe delle fonti, ed erano anche consacrate a diverse divinità alle quali venivano eretti templi ove le Sibille, ispirate dal dio, fornivano i propri vaticini.

I fiumi e le fonti spesso venivano personificati come si evince da varie testimonianze archeologiche tra cui ricordiamo la rappresentazione di due importanti fiumi della Grecia, Alfeo e Cladeo, identificati nelle figure allungate negli angoli del frontone del tempio di Zeus ad Olimpia. Anche sulle monete spesso venivano impresse figure allegoriche rappresentanti i fiumi o figure femminili intente ad attingere acqua nelle quali si devono identificare le Naiadi.

Alle fonti sono ancora oggi legati i pellegrinaggi di cura, fenomeni di culto legati a figure sante o divine, come pellegrinaggi al Santuario della Madonna di Lourdes che ogni anno è raggiunto da numerosi ammalati che sperano in una guarigione miracolosa.

La cura di varie malattie che utilizzano l'acqua non bisogna però considerarla solo come un atto di fede, in quanto l'idroterapia ha radici molto antiche come hanno dimostrato i resti di vasti stabilimenti balneari rinvenuti durante scavi archeologici nei pressi di Babilonia risalenti al 3000 a.C.

Nel *Corpus Hippocraticum* il padre della medicina Ippocrate (460 a.C.), dedica un intero capitolo all'ambiente, *De aere, aquis e locis*, e considera l'acqua responsabile delle differenze fisiche e psichiche degli uomini, nonché causa di malattie attribuendole una grande importanza per la salute, distinguendo però effetti sia benefici che malefici. Egli crede nelle virtù terapeutiche dell'acqua, consigliando docce fredde contro le infiammazioni della pelle, il gonfiore delle articolazioni ed i crampi muscolari; bagni caldi per ammorbidire la pelle. Divide le acque in diverse categorie a seconda della loro origine: acqua palustri, ferme, stagnanti e maleodoranti perché non scorrono; acque che scaturiscono da rocce o dal terreno, calde e ricche di minerali;

acque che scorrono da luoghi elevati o da collinette terrose, buone, dolci e limpide; acque piovane, leggere, dolci, limpide, perché private dal sole della componente salina; acque che si formano da neve o ghiaccio sono dannose e inadatte a qualsiasi uso perché la parte limpida, leggera, dolce si separa nel congelamento lasciando la parte più torbida e pesante.

Plinio il Vecchio nel suo trattato *Historia naturalis* riferisce che al suo tempo si faceva ricorso alle acque come medicina capace di guarire tutti i mali. Venivano impiegate infatti sia per uso esterno sottoforma di bagni caldi o freddi, docce, abluzioni ed inalazioni, sia per uso interno come bevanda pura o minerale. Egli ci dà testimonianza inoltre della diffusione della pratica del bagno per merito di Asclepiade di Brussa e che lo stesso ingegnosamente inventò i “bagni pensili” facendo sospendere ed oscillare le vasche da bagno allo scopo di stimolare più energicamente la pelle del bagnante.

Plinio classificò le acque in base alla loro temperatura e composizione chimica: sulfuree, bituminose, alluminose, acidule, saline e ferruginose; ne mise in evidenza l'effetto diuretico, l'efficacia nelle malattie del ricambio organico, del sistema nervoso, nella cura della sterilità femminile.

Paracelso (1493) curò con acqua ed erbe il tipografo Frobenius, personaggio molto importante affetto da cancrena impedendo l'amputazione della gamba.

Il *De balneis omnia quae extant apud Graecos, Latinos, et Arabas scriptores* di Michele Savonarola (1384–1486) pubblicato a Venezia nel 1553 costituisce il primo trattato di balneoterapia.

La vera pratica idroterapica ebbe inizio con Vincenz Priesnitz (inizi 1800) che sottoponeva i suoi ammalati ad un test, per essere certo che la cura portasse loro giovamento. Dopo un attento controllo del cuore e del sistema circolatorio, il paziente era sottoposto ad un bagno in acqua alla temperatura di 18°C nel corso del quale veniva massaggiato; seguiva un bagno alla temperatura di 6°C che durava pochi secondi, seguito ancora da un bagno in acqua tiepida. A questo punto si passava all'osservazione: se la pelle era arrossata, trasmettendo una sensazione di

calore e si contraeva mentre il paziente provava benessere e si sentiva fresco, il test risultava positivo; se invece la pelle rimaneva fresca ed arida ed il paziente non dava segno di freschezza, Priessnitz, rinunciava al trattamento considerandolo inefficace.

Egli curò molte malattie acute con manifestazioni febbrili, eruzioni cutanee, ulcere, ferite, malattie nervose, focolai gottosi e reumatici, rachitismo, malattie renali, proponendo per primo un metodo idroterapico sistematico alternando bagni e movimento.

Sebastian Kneipp rese più miti le cure di Priessnitz, inserendo oltre ai bagni freddi anche i bagni caldi e dai bagni totali passò ai bagni parziali, ritenendo che l'effetto dell'acqua fredda era più intenso essendo ogni volta stimulate parti del corpo diverse.

In seguito all'idroterapia unì l'uso di piante medicinali; il bagno di erbe medicinali a temperatura variabile; l'applicazione ed impacchi di erbe, con aggiunta di argilla e latte cagliato. Considerando essenziale il movimento per irrobustire il corpo, introdusse la pratica del camminare nell'acqua o sull'erba fresca bagnata di rugiada. Infine riteneva importante anche per il lattante eseguire dei movimenti dopo il bagno caldo.

Presso le moderne strutture termali, oltre alle cure tradizionali, è possibile godere dei benefici dell'acqua anche con finalità cosmetiche, per attenuare il lento decadimento legato all'avanzare degli anni e mantenere il proprio organismo nelle condizioni migliori.

Da tutti viene dato per scontato, invece bisognerebbe sempre tener presente, che la componente più importante della nostra alimentazione è l'acqua o meglio l'acqua potabile. Il corpo umano è formato dal 60% di acqua e non ha riserve alle quali poter attingere, per cui in caso di emergenza, un essere umano può sopravvivere anche alcune settimane senza mangiare ma senza acqua non sopravvive nemmeno tre giorni. Un consumo di acqua adeguato è sano e ci mantiene vitali, ma non essendo una risorsa inesauribile, essa deve essere consumata con attenzione. Nelle nostre case oggi si consumano molti litri di acqua al giorno per persona, per la cura del corpo e l'igiene, una qualità di

vita alla quale ormai è impensabile rinunciare, ed invece esistono popolazioni per le quali l'acqua è un problema di sopravvivenza. Dal punto di vista igienico si vive in condizioni sopportabili quando il consumo di acqua è di circa 20L a testa al giorno consentendo un minimo di igiene personale e la possibilità di svolgere qualche lavoro di pulizia.

Questa quantità è riconosciuta a livello internazionale come fabbisogno di acqua necessario, però non trova sempre riscontro nella realtà, perché è dimostrato che oggi almeno 26 Paesi con una popolazione di 450 milioni di persone hanno un consumo di acqua inferiore ai 20 litri a testa al giorno.

Le conseguenze della mancanza di acqua sono enormi e rappresentano una grande sfida che l'uomo deve saper affrontare cercando delle soluzioni alternative anche per quanto riguarda le variazioni delle abitudini alimentari, considerando che l'alimentazione vegetariana necessita di molta meno acqua rispetto a quella contenente carne. In un futuro non molto lontano ci si dovrà confrontare a livello mondiale con un più efficiente sfruttamento dell'acqua, perché in molte parti della terra come, l'India, Israele, gran parte dell'Africa, i Paesi del Golfo Persico, l'acqua diventerà una risorsa rara e si renderà quindi necessario sviluppare nuove tecnologie.

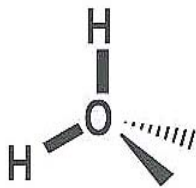
Il consumo di acqua nell'agricoltura potrebbe essere ridotto fino alla metà adottando poche misure mirate, come ad esempio una microirrigazione ben strutturata; potrebbe essere raccolta l'acqua piovana in opportune cisterne per poter usufruire di una riserva di acqua dolce da sfruttare nelle necessità; bisognerebbe mettere a punto efficaci metodiche di depurazione per il riciclaggio dell'acqua industriale.

Capitolo I

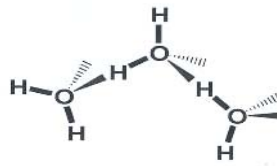
L'acqua: caratteristiche fisico-chimiche

L'acqua, la molecola più semplice presente in natura, H_2O , formata dall'unione di due soli componenti diversi, gli atomi di idrogeno ed ossigeno, costituisce l'elemento fondamentale per la vita umana. Nell'acqua nasce la vita e l'acqua alimenta la vita degli uomini, delle piante e degli animali. L'acqua è anche elemento distruttivo e questo dualismo di vita e morte è insito nella stessa struttura molecolare ove esiste una separazione tra le cariche positive (H^+) e le cariche negative (O^-).

La molecola dell'acqua (FIG.1) non è lineare, ma presenta un angolo di $104,5^\circ$ e gli elettroni liberi sull'atomo di ossigeno attraggono gli atomi di idrogeno formando un debole legame di natura elettrostatica detto *legame idrogeno* che unisce più molecole tra di loro



Formula Acqua



Legame Idrogeno

Figura 1.

Esiste in natura una grande varietà di acque: acqua piovana; acqua superficiale: mare, fiume, lago; acqua sotterranea: sorgenti calde e fredde; acque magmatiche. Se l'aspetto esteriore è identico, perché sono tutte allo stato liquido, esse differiscono tra loro per la presenza di soluti disciolti, per caratteristiche fisico-chimiche e pertanto vengono utilizzate per scopi diversi.

Non tutte le acque infatti sono idonee per scopi potabili, ma trovano impiego nell'industria, nell'agricoltura, in medicina.

Le particolari proprietà chimico-fisiche dell'acqua derivano dalla struttura specifica della singola molecola e dai suoi stati di aggregazione. L'acqua in natura è presente allo stato solido, liquido e di vapore, rispettivamente caratterizzati da una disposizione ordinata delle molecole in un reticolo cristallino (stato solido) o libere di muoversi disordinatamente (stato liquido) o dotate di elevata energia cinetica (stato di vapore) ed i tre stati coesistono in equilibrio alla temperatura di 4°C , temperatura alla quale l'acqua presenta la sua massima densità.

L'acqua presenta a 0°C il suo punto di congelamento ed a 100°C il punto di ebollizione alla pressione atmosferica di 760 mm di Hg: variando la pressione si hanno variazioni per la temperatura di congelamento e di ebollizione (FIG. 2)

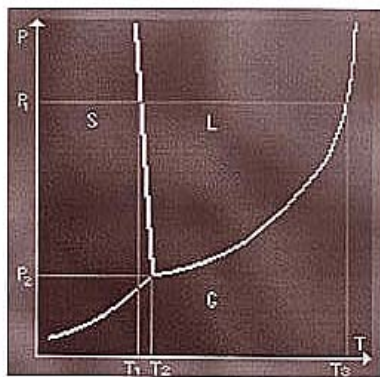


Diagramma di stato dell'acqua

S= stato solido

L= stato liquido

G= stato gassoso

T= temperatura

P= pressione

P_1, T_1 = ghiaccio

P_1, T_3 = vapore

P_2, T_2 = punto triplo

Figura 2. Diagramma di stato.

Il passaggio dallo stato solido allo stato gassoso avviene per somministrazione di calore, mentre il passaggio dallo stato gassoso allo stato solido, essendo il processo reversibile, avviene per sottrazione di calore.

Le molecole dell'acqua passando dallo stato liquido allo stato solido (ghiaccio) danno origine ad una struttura esagonale che si sviluppa tridimensionalmente, con la formazione di cavità all'interno del reticolo cristallino. Il passaggio di stato porta ad una sistemazione ordinata delle varie molecole in una struttura polimorfa, per formazione di legami di natura elettrostatica tra di esse (legame idrogeno), con diminuzione della densità. Il ghiaccio infatti galleggia sull'acqua, essendo meno denso per la presenza dei vuoti intrareticolari ed il passaggio di stato liquido-solido comporta un aumento di volume.

La presenza del legame idrogeno permette di spiegare alcuni comportamenti anomali dell'acqua se confrontata con altre molecole della sua stessa dimensione.

Il suo coefficiente di compressibilità-variazione di volume con aumento della pressione ad una determinata temperatura-decresce al variare della temperatura fino a 46°C e poi aumenta.

Il calore specifico-quantità di calore da somministrare per elevare di 1°C 1g di sostanza-nel caso dell'acqua viene considerato l'intervallo tra 14,5°C e 15,5°C e la quantità di energia fornita viene definita *Caloria*. Nel sistema internazionale l'unità di misura dell'energia è il *Joule*:

$$1\text{Cal}=4,186\text{ J.}$$

L'acqua presenta una elevata costante dielettrica, pari ad 80, per la formazione del dipolo molecolare, cioè della separazione delle cariche all'interno della molecola che permette un orientamento dei dipoli quando viene applicato un campo elettrico esterno.

Essa ha una forte tensione superficiale che le permette di formare le "gocce d'acqua" essendo le molecole d'acqua tenute insieme per la forza di coesione. La tensione superficiale, infatti,

rappresenta la forza con la quale le molecole che si trovano alla superficie di un liquido sono attratte verso l'interno, facendo in modo che lo strato superficiale si comporti come una sottile pellicola elastica.

La capillarità è un fenomeno che permette all'acqua di salire in tubicini capillari a causa della forza che si instaura tra le molecole di acqua e le pareti dei tubicini stessi. Questa forza detta forza di adesione è più forte delle forze di coesione che tengono unite le varie molecole di acqua tra loro, per cui l'acqua aderisce alle pareti dei tubicini bagnandole. Le forze di coesione però fanno sentire la loro influenza per cui la superficie del liquido non risulta piana, ma presenta una concavità verso l'alto. Il fenomeno della capillarità è molto importante in natura, perché permette all'acqua di risalire dagli strati profondi attraverso le fessure delle rocce per sgorgare come sorgente.

L'acqua si può considerare il solvente per eccellenza: sostanze polari formano nell'acqua delle vere soluzioni dissociandosi in ioni ed influenzando sia il punto di congelamento che il punto di ebollizione; sostanze a carattere acido o basico, modificano il pH verso l'acidità (valore della concentrazione di H^+) della soluzione, o verso l'alcalinità (valore della concentrazione OH^-) mentre l'acqua da sola mostra carattere neutro, dissociandosi egualmente in H^+ ed OH^- .

Talune sostanze di natura organica sono solubili completamente in acqua senza mostrare alcuna dissociazione; altre formano delle pseudosoluzioni o soluzioni colloidali, risultando disperse sotto forma di piccolissime particelle, di grandezza superiore agli ioni, dette micelle, che presentano particolari proprietà. Le soluzioni colloidali non influenzano le proprietà colligative (punto di ebollizione, punto di congelamento, pressione osmotica), ma hanno la caratteristica proprietà di trasformarsi per azione del calore da idrosoli in idrogeli (cioè passare dallo stato di sospensione colloidale allo stato di solido colloidale). Quando le soluzioni colloidali vengono colpite da un raggio luminoso disperdono la luce in tutte le direzioni (fenomeno della diffrazione) ed osservate al microscopio mostrano le micelle come

punti luminosi in movimento. Le micelle sono inoltre capaci di adsorbire sulla loro superficie ioni presenti in soluzione, caricandosi elettricamente di uno stesso segno, fenomeno che viene sfruttato per la separazione in campo elettrico (elettroforesi) di sostanze colloidali di grande interesse biologico come le proteine.

L'osmosi è un fenomeno legato alla concentrazione di sali solubili in soluzione per cui è possibile il passaggio di acqua da una soluzione diluita ad una concentrata quando sono entrambe a contatto di una membrana semipermeabile, ossia una membrana permeabile all'acqua ma non ai soluti. Il meccanismo è spiegabile per la tendenza dell'acqua a spostarsi da una zona in cui il suo potenziale chimico è alto verso una in cui il suo potenziale chimico è più basso come è determinato dalla presenza di soluto, fino al raggiungimento di un equilibrio di concentrazione. La pressione alla quale i liquidi sono in equilibrio è definita *pressione osmotica* ed è dipendente dal numero di particelle presenti in soluzione.